

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

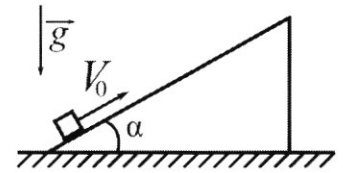
Шифр

(заполняется секретарём)

1. Фейерверк массой $m = 1 \text{ кг}$ стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3 \text{ с}$ разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Суммарная кинетическая энергия осколков сразу после взрыва $K = 1800 \text{ Дж}$. На землю осколки падают в течение $\tau = 10 \text{ с}$.

- 1) На какой высоте H взорвался фейерверк?
- 2) В течение какого промежутка времени τ осколки будут падать на землю? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол α такой, что $\cos \alpha = 0,6$. Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают некоторую начальную скорость V_0 (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину и поднимается на максимальную высоту



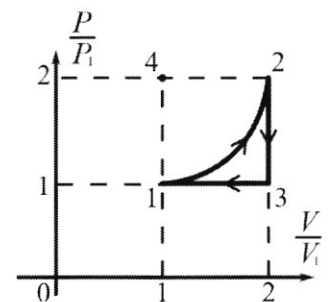
$H = 0,2 \text{ м}$. Масса клина в два раза больше массы шайбы. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

- 1) Найдите начальную скорость V_0 шайбы.
- 2) Найдите скорость V клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

3. По внутренней поверхности проволочной сферы равномерно движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Сила, с которой модель действует на сферу, в два раза больше силы тяжести, действующей на модель. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

- 1) Найдите ускорение a модели.
- 2) Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 45^\circ$. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,8$, радиус сферы $R = 1 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 4. Считать заданными давление P_1 и объём V_1 .



- 1) Какое количество Q теплоты подведено к газу в процессе расширения?
- 2) Найдите работу A газа за цикл.
- 3) Найдите КПД η цикла.

5. Заряд $Q > 0$ однородно распределен по сфере радиуса R . В первом опыте на расстоянии $3R$ от центра сферы помещают небольшой по размерам шарик с зарядом $q > 0$.

- 1) Найдите силу F_1 , действующую на заряженный шарик.

Во втором опыте заряд q однородно распределяют по стержню длины R , стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии $3R$ от центра.

- 2) Найдите силу F_2 , с которой заряженный стержень действует на заряженную сферу.

Все силы, кроме кулоновских, считайте пренебрежимо малыми. Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Явлениями поляризации пренебрегите.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

$$1) v_{0,T} = v_0 - gT = 0$$

$$v_0 = gT$$

$$H = v_0 T - \frac{gT^2}{2} = gT^2 - \frac{gT^2}{2} = \frac{gT^2}{2}$$

$$H = \frac{10 \cdot 3^2}{2} = 45 \text{ м}$$

Ответ: 45 м.

$$2) K = \frac{m_1 v_{\text{оск}}^2}{2} + \frac{m_2 v_{\text{оск}}^2}{2} + \dots = \frac{m v_{\text{оск}}^2}{2}$$

$$v_{\text{оск}} = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

Первым ^{место} от взрыва прилетит на землю осколок, летевший вертикально вниз

$$H = v_{\text{оск}} \tau + \frac{g\tau^2}{2}$$

$$\frac{g}{2} \tau^2 + v_{\text{оск}} \tau - H = 0$$

$$D = v_{\text{оск}}^2 + 2gH$$

$$\tau_1 = \frac{-v_{\text{оск}} + \sqrt{v_{\text{оск}}^2 + 2gH}}{g}$$

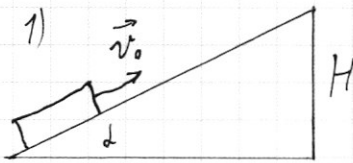
$$\tau_2 = \frac{-v_{\text{оск}} - \sqrt{v_{\text{оск}}^2 + 2gH}}{g} < 0 \text{ — не подходит по условию}$$

$$\tau = \frac{-\sqrt{\frac{2K}{m}} + \sqrt{\frac{2K}{m} + 2gH}}{g}$$

$$\tau = \frac{-\sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{1}} + \sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{1} + 2 \cdot 10 \cdot 45}}{10} = -6 + 3\sqrt{5} \approx 0,7 \text{ с}$$

Ответ: 0,7 с

$\sqrt{2}$.



Закон сохранения энергии

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g H + \frac{(m+2m) v^2}{2}$$

$$\frac{v_0^2}{2} = 3 g H + \frac{3 v^2}{2}$$

Закон сохранения импульса

$$m v_0 \cos \alpha = 3 m v$$

$$v = \frac{v_0 \cos \alpha}{3}$$

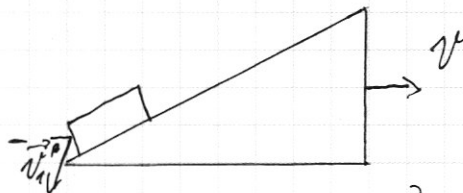
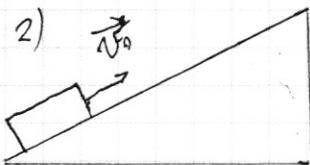
$$\frac{v_0^2}{2} = g H + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{6}$$

$$g H = \frac{v_0^2 (3 - \cos^2 \alpha)}{6}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{6 g H}{3 - \cos^2 \alpha}}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{6 \cdot 10 \cdot 0,2}{3 - 0,6^2}} = \sqrt{\frac{12}{2,64}} \approx 2,1 \text{ м/с}$$

Ответ: 2,1 м/с



Закон сохр. энергии

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \frac{m v_1^2}{2} \quad v_1^2 = v_0^2 - v^2$$

Закон сохр. импульса

$$\begin{cases} m v_1 \sin \beta = m v_0 \sin \alpha \\ m v + m v_1 \cos \beta = m v_0 \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1^2 \sin^2 \beta = v_0^2 \sin^2 \alpha \\ v_1^2 \cos^2 \beta = v^2 - 2 v v_0 \cos \alpha + v_0^2 \cos^2 \alpha \end{cases}$$

$$v_1^2 = v^2 - 2 v v_0 \cos \alpha + v_0^2$$

Аналогично п. 1

$$v_0 \cos \alpha = 2 v$$

$$\frac{v_0^2}{2} = g H + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{4}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{4 g H}{2 - \cos^2 \alpha}}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 10 \cdot 0,2}{2 - 0,6^2}} = \sqrt{\frac{8}{1,64}} \approx 2,2 \text{ м/с}$$

$$v_0^2 - v^2 = v^2 - 2 v v_0 \cos \alpha + v_0^2$$

$$2 v^2 = 2 v v_0 \cos \alpha$$

$$v = v_0 \cos \alpha$$

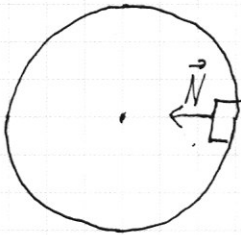
$$v = 2,2 \cdot 0,6 \approx 1,3 \text{ м/с}$$

Ответ: 1,3 м/с

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3.

1)



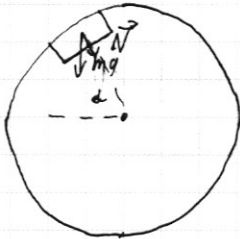
$$m\vec{a} = \vec{N}$$

$$ma = N = 2mg$$

$$a = 2g \quad a = 2 \cdot 10 = 20 \text{ м/с}^2$$

Ответ: 20 м/с²

2)



$$N = mg \mu \quad \mu N = mg \cos \alpha$$

$$N = \frac{mg \cos \alpha}{\mu}$$

$$ma = N + mg \sin \alpha$$

$$ma = mg \left(\frac{\cos \alpha}{\mu} + \sin \alpha \right)$$

$$a = g \left(\frac{\cos \alpha}{\mu} + \sin \alpha \right)$$

$$a = \frac{v_{\min}^2}{R}$$

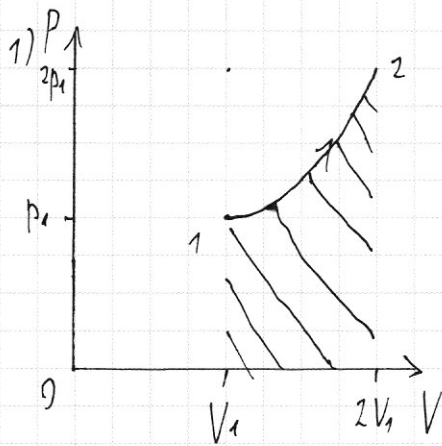
$$v_{\min}^2 = gR \left(\frac{\cos \alpha}{\mu} + \sin \alpha \right)$$

$$v_{\min} = \sqrt{gR \left(\frac{\cos \alpha}{\mu} + \sin \alpha \right)}$$

$$v_{\min} = \sqrt{10 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)} = \sqrt{5\sqrt{2} \cdot 2,25} = 1,5 \cdot \sqrt{5\sqrt{2}} \approx 4 \text{ м/с}$$

Ответ: 4 м/с

№ 4.



$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$$

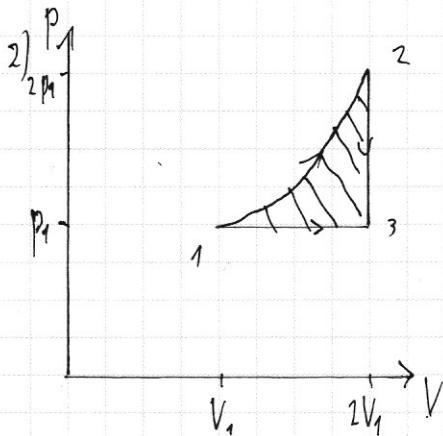
A_{12} - площадь закрашенной части

$$A_{12} = 2p_1 V_1 - \frac{\pi p_1 V_1}{4} = p_1 V_1 \cdot \frac{8-\pi}{4}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (4p_1 V_1 - p_1 V_1) = \frac{9}{2} p_1 V_1$$

$$Q_{12} = p_1 V_1 \cdot \frac{26-\pi}{4} \approx 7,7 p_1 V_1$$

Ответ: $p_1 V_1 \cdot \frac{26-\pi}{4} \approx 7,7 p_1 V_1$



A - площадь закрашенной фигуры

$$A = p_1 V_1 - \frac{p_1 V_1 \pi}{4} = p_1 V_1 \cdot \frac{4-\pi}{4} \approx 0,2 p_1 V_1$$

Ответ: $p_1 V_1 \cdot \frac{4-\pi}{4} \approx 0,2 p_1 V_1$

3)

$$\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\%$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (4p_1 V_1 - p_1 V_1) = \frac{9}{2} p_1 V_1 \quad Q_{12} = p_1 V_1 \cdot \frac{26-\pi}{4}$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) = \frac{3}{2} (4p_1 V_1 - 2p_1 V_1) = 3 p_1 V_1$$

$$Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1) + p_1 V_1 = \frac{3}{2} (2p_1 V_1 - p_1 V_1) + p_1 V_1 = \frac{5}{2} p_1 V_1$$

$$Q = p_1 V_1 \cdot \frac{48-\pi}{4}$$

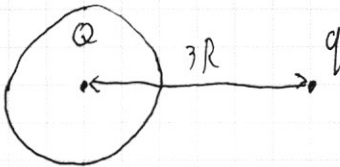
$$\eta = \frac{4-\pi}{48-\pi} \cdot 100\% \approx 0,3\%$$

Ответ: $\frac{4-\pi}{48-\pi} \cdot 100\% \approx 0,3\%$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

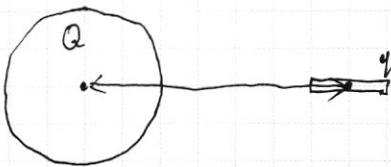
1)



$$F = k \frac{Q \cdot q}{(3R)^2} = k \frac{Qq}{9R^2}$$

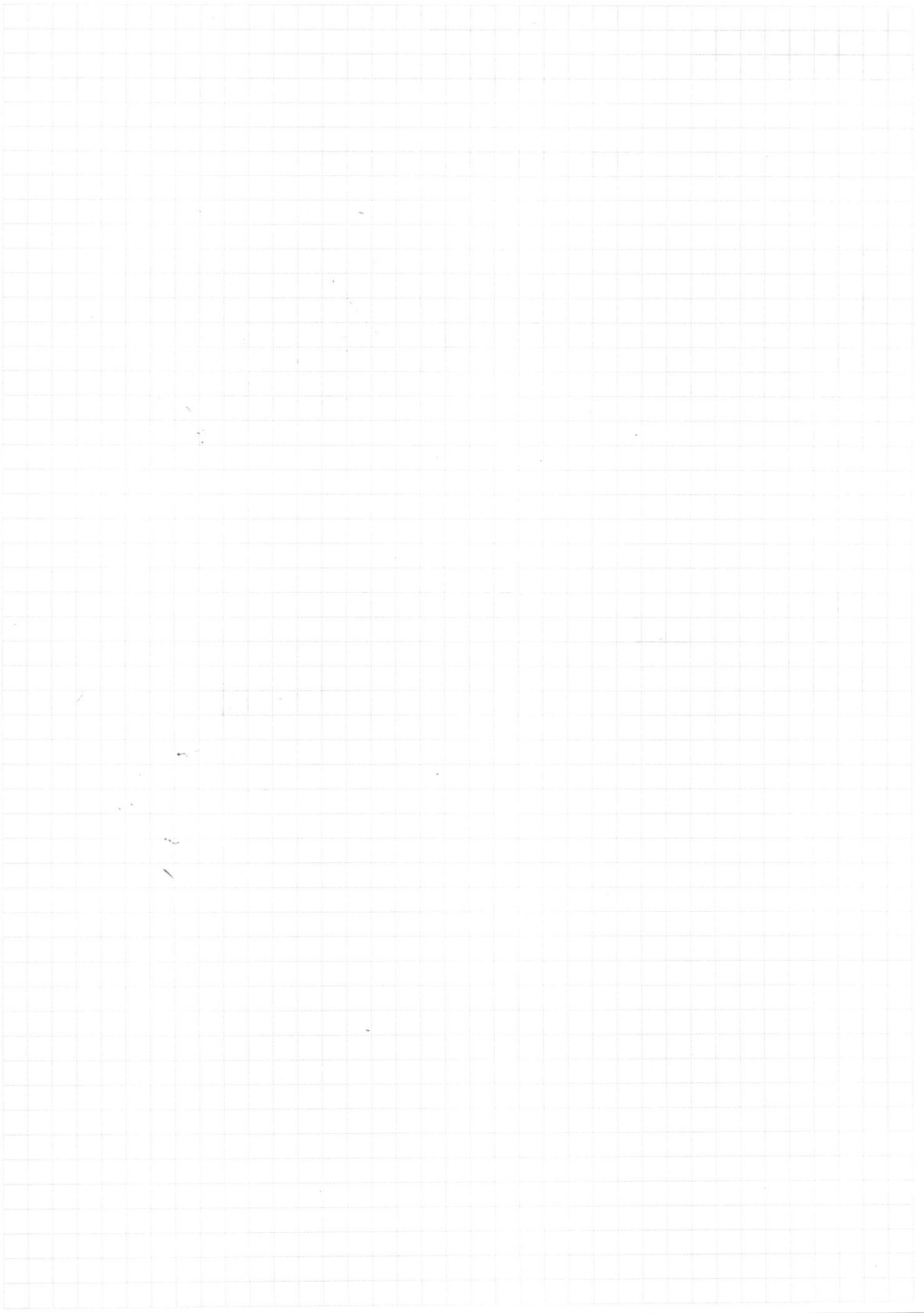
Ответ: $k \frac{Qq}{9R^2}$

2)



$$F = k \cdot \frac{Q \cdot q}{(3,5R)^2} = k \cdot \frac{Q \cdot q}{12,25R^2}$$

Ответ: $k \frac{Qq}{12,25R^2}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. $\sqrt{4(54)} \approx 2,1$

$v_0 = gT = 30 \text{ м/с}$

$H = \frac{v_0^2}{2g} = 45 \text{ м}$

$K = \frac{mv_0^2}{2}$

$v = 60 \text{ м/с}$

$H = v \cos \alpha \tau_1 + \frac{g\tau_1^2}{2}$

$H = -v \cos \alpha (\tau_1 + \tau) + \frac{g(\tau_1 + \tau)^2}{2}$

$\begin{cases} 2H = \frac{g(\tau_1^2 + (\tau_1 + \tau)^2)}{2} - v \cos \alpha (2\tau_1 + \tau) \\ 0 = v \cos \alpha (2\tau_1 + \tau) - \frac{g\tau(2\tau_1 + \tau)}{2} \end{cases}$

$0 = (2\tau_1 + \tau)(v \cos \alpha - \frac{g\tau}{2})$

$v \cos \alpha = \frac{g\tau}{2}$

$\cos \alpha = \frac{g\tau}{2v} = \frac{5}{6}$

$\sqrt{5} \approx 2,2$

$H = v \cos \alpha \tau_1 + \frac{g\tau_1^2}{2}$

$\frac{g\tau_1^2}{2} + v \cos \alpha \tau_1 - H = 0$

$D = v^2 \cos^2 \alpha + 2gH = 2 \left(\frac{(v \cos \alpha)^2}{2} - gH \right)$

$\tau_1 = \frac{v \cos \alpha \pm \sqrt{(v \cos \alpha)^2 + 2gH}}{g} = \frac{5 \pm \sqrt{34}}{2} \text{ с}$

$5\tau_1^2 + 50\tau_1 - 45 = 0$

$\frac{v}{4} = 625 + 225 = 850$

$\tau_1 = \frac{-25 \pm \sqrt{94}}{5} = -5 \pm \sqrt{34}$

2. $v_1 \sin \alpha = v_0 \sin \alpha$

$v_1 \cos \alpha = v - v_0 \cos \alpha$

$v_1^2 = v_0^2 - v^2$

$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{3mv^2}{2}$

$\frac{v_0^2}{2} = gH + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{6}$

$gH = \frac{v_0^2 (3 - \cos^2 \alpha)}{6}$

$v_0 = \sqrt{\frac{6gH}{3 - \cos^2 \alpha}}$

$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{3mv^2}{2}$

$\frac{v_0^2}{2} = gH + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{6}$

$gH = \frac{v_0^2 (3 - \cos^2 \alpha)}{6}$

$v_0 = \sqrt{\frac{6gH}{3 - \cos^2 \alpha}} \approx \sqrt{\frac{12}{3,64}} \text{ м/с}$

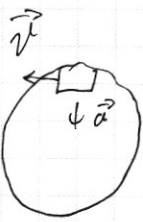
$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2}$

$mv_0 \cos \alpha = v - v_1 \cos \alpha$

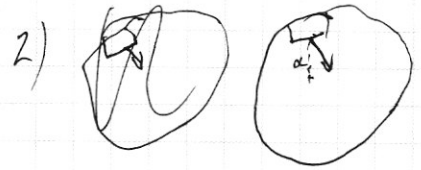
$v_1 \cos \alpha = v - v_0 \cos \alpha$

$170 - 50\sqrt{34} + 125 + 50\sqrt{34} - 250 - 95 = 0$

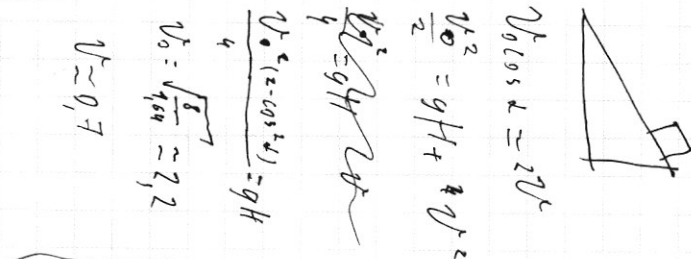
№3.



1) $ma = N = 2mg$
 $a = 2g = 20 \text{ m/s}^2$
 $ma = N = 2mg$
 $a = 2g = 20 \text{ m/s}^2$



$v_0^2 \cos^2 \alpha + 4v_1^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha$
 $v_0^2 + v_1^2 \sin^2 \alpha = 2v^2 + v_1^2$
 $m v_0^2 \cos^2 \alpha = m v^2$
 $m v_1^2 \sin^2 \alpha = m v^2$
 $m v_0^2 \cos^2 \alpha + m v_1^2 \sin^2 \alpha = 2m v^2$
 $v_0^2 \cos^2 \alpha + v_1^2 \sin^2 \alpha = 2v^2$



$ma = m g \sin \alpha$
 $a = \frac{v_{\min}^2}{R \sin \alpha}$
 $v_{\min} = \sqrt{gR \sin \alpha} = 10 \text{ m/s}$

№4.

1) $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$
 $A_{12} = 2 p_1 V_1 - \frac{\pi p_1 V_1}{4}$
 $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} p_1 V_1$

2) $A = p_1 V_0 - \frac{\pi p_1 V_1}{4}$

3) $Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} =$
 $= \frac{3}{2} p_1 V_1 + 2 p_1 V_1 - p_1 V_1 =$
 $= 4 p_1 V_1$
 $\eta = \frac{4 - \pi}{36}$

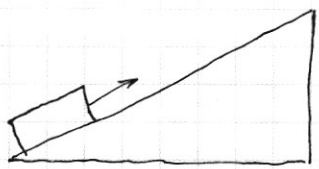
№5.

$F_1 = k \frac{Qq}{9R^2}$
 $F_2 = k \frac{Qq}{2,25R^2}$

$6,5 - 0,785 \approx 5,7$
 $7,7$
 $0,1416$
 $44,1416$

$1416000 \overline{) 441416}$
 3132000
 1082168
 917520

$676 \approx 2,6$
 $2,65$
 $2,65$
 1325



$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \frac{m v_1^2}{2}$
 $m v_0 \cos \alpha = m v - m v_1 \cos \alpha$



1590
 530
 $7,0225$
 $2,67$
 $2,67$
 1869
 $+ 1602$
 534
 $7,1289$

$\mu N = mg \cos \alpha$
 $N = \frac{mg \cos \alpha}{\mu}$

$800 \overline{) 164}$
 $656 \overline{) 48}$
 1440
 1302
 1380



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

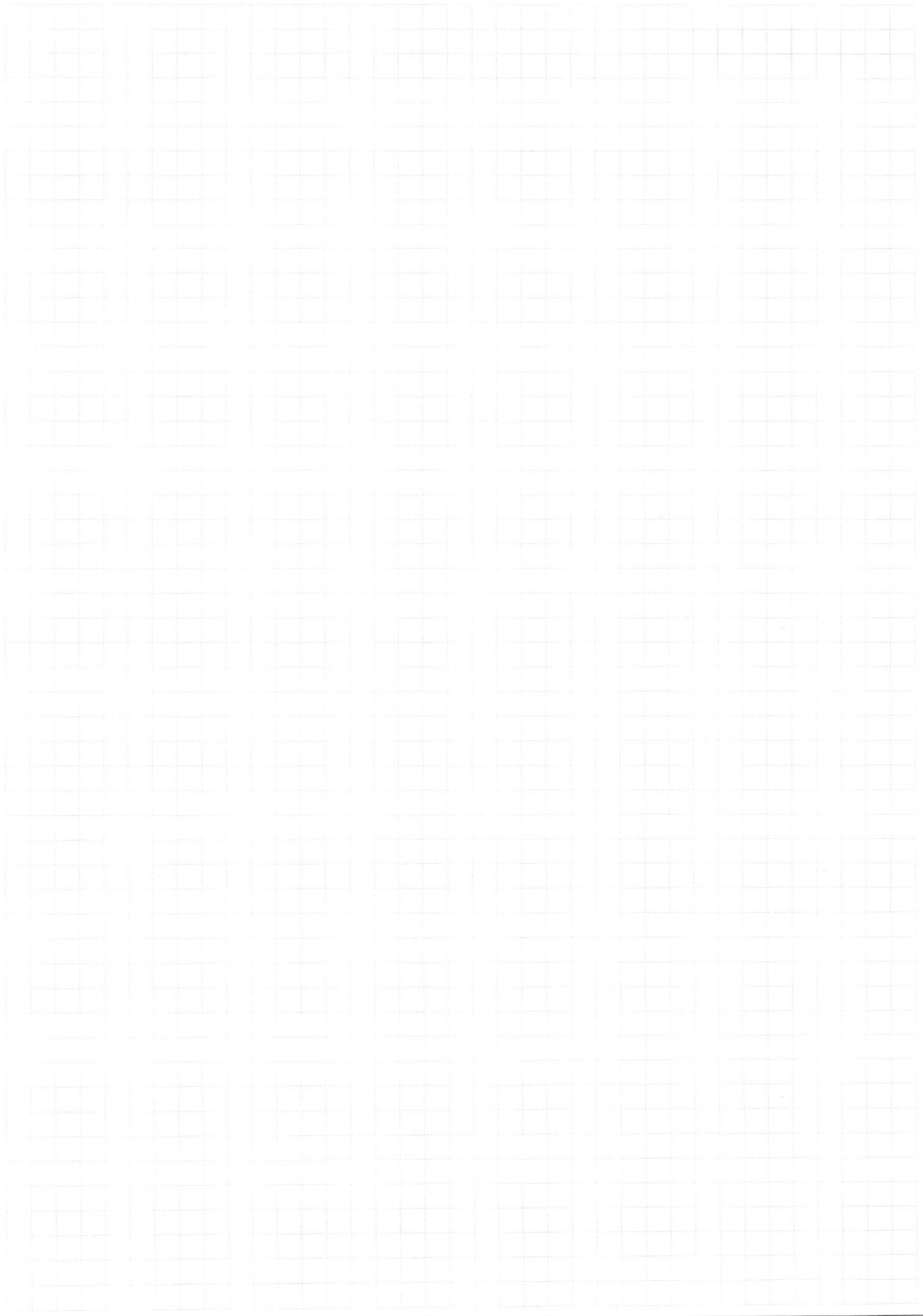
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)